



REC'D 29 SEP 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 36 150.9

Anmeldetag: 05. August 2002

Anmelder/Inhaber: Universität Kassel, Kassel/DE
(vormals: Universität Gesamthochschule Kassel)

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung wenigstens einer kleinen
Öffnung in einer Schicht auf einem Substrat und da-
mit hergestellte Bauelemente

IPC: B 81 C, B 81 B, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

BEST AVAILABLE COPY

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Zusammenfassung

- Es wird ein Verfahren zur Herstellung wenigstens einer kleinen Öffnung (10) in einer Schicht auf einem Substrat (1), insbesondere einem Halbleitersubstrat, beschrieben. Das Substrat (1) wird auf der Oberseite (2) mit wenigstens einer spitz zulaufenden, einen Spitzenabschnitt (4) und Seitenwände (5) aufweisenden Vertiefung (6) versehen, und die
- 5 Oberseite (2) des Substrats (1) wird zumindest im Bereich der Vertiefung (6) mit einer Schicht (7) aus einem ätzbaren Material belegt. Erfindungsgemäß wird die Öffnung (10) mittels eines auf das Material der Schicht (7) abgestimmten, anisotropen Plasma-Ätzverfahrens von der Oberseite (2) her durch selektives Öffnen der Schicht (7) hergestellt, indem das Material, die Ätzgase und die Ätzparameter so gewählt werden, daß sich im
- 10 Bereich eines dem Spitzenabschnitt (4) des Substrats (1) aufliegenden Spitzenabschnitts (9) der Schicht (7) eine größere Ätzrate als im Bereich von den Seitenwänden (5) des Substrats (1) aufliegenden Seitenwänden (8) der Schicht (7) ergibt. Außerdem werden nach diesem Verfahren hergestellte Kalibrierstandards, Biegebalken und andere Bauelemente beschrieben (Fig. 1).

Patentanwalt
Diplom-Physiker
Reinfried Frhr. v. Schorlemer

Karthäuserstr. 5A
34117 Kassel
Allemagne

Telefon/Telephone (0561) 15335
(0561)780031
Telefax/Telecopier (0561)780032

Universität Gesamthochschule Kassel, 34125 Kassel

Verfahren zur Herstellung wenigstens einer kleinen Öffnung in einer Schicht auf einem Substrat und damit hergestellte Bauelemente

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung wenigstens einer kleinen Öffnung in einer Schicht auf einem Substrat, insbesondere einem Halbleitersubstrat, wobei das Substrat auf der Oberseite mit wenigstens einer spitz zulaufenden, eine Spitzenabschnitt und Seitenwände aufweisenden Vertiefung versehen, die Oberseite des Substrats zumindest
5 im Bereich der Vertiefung mit einer Schicht aus einem ätzbaren Material belegt und die Öffnung dann im Bereich des Spitzenabschnitts durch Ätzen der Schicht hergestellt wird.

Bei den im Rahmen der vorliegenden Erfindung interessierenden Öffnungen handelt es sich insbesondere um punkt- oder linienförmige Öffnungen (Aperturen), die Durchmesser
10 bzw. Breiten im Nanometerbereich aufweisen. Derartige Öffnungen werden beispielsweise als Bestandteile von Sonden für die optische Rasternahfeldmikroskopie ("scanning near-field optical microscopy" = SNOM oder "near-field scanning optical microscopy" = NSOM) benötigt. Wie bei allen Rasternahfeldtechniken wird die erzielbare Auflösung hierbei durch die Geometrie und die Abmessungen der Sonde, insbesondere der Sonden-
15 Öffnung, sowie den Abstand der Sonde zur Oberfläche limitiert. Um Subwellenauflösungen zu erreichen, ist es erforderlich, daß der ermittlernde oder lichtdetektierende Bereich der Sonde laterale Abmessungen deutlich unter $1\mu\text{m}$, vorzugsweise unter 100 nm aufweist.

Daneben können Öffnungen mit derartigen Abmessungen auch z. B. bei Teilchenfiltern, Sieben, durchlässigen Membranen, optischen Raumfiltern, ultrakleinen Kontaktierungen und geschichteten Bauteilen sowie zahlreichen weiteren Einrichtungen vorteilhaft angewendet werden, z. B. bei zur Herstellung von Halbleiterbauelementen bestimmten Ätzmasken.

- 5 Schließlich besteht im Bereich der Rastersondenmikroskopie allgemein ein Bedarf an dreidimensionalen Kalibrierstandards und Sensoren in Form von einseitig eingespannten Biegebalken (Cantilevern) mit Öffnungen im Nanometerbereich für nahfeldoptische Einrichtungen.
- 10 Zur Herstellung kleiner Öffnungen ist es bekannt (DE 199 26 601 A1), die Oberseite eines Substrats mit Vertiefungen in Form von spitz zulaufenden Gräben oder auf der Spitze stehenden, inversen Pyramiden zu versehen und das Substrat von seiner Unterseite her zu ätzen, bis die Spitzen erreicht und im Bereich der Spitzen kleine Öffnungen entstanden sind. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Dicke
- 15 üblicher Substrate stark variiert und bereits Dickenschwankungen von ca. 10 µm zur Folge haben können, daß trotz Anwendung definierter Ätzparameter Öffnungen mit unterschiedlichen Durchmessern bzw. Breiten entstehen und/oder die Spitzen der Vertiefungen gar nicht geöffnet werden. Dieses Verfahren ist daher nicht zur reproduzierbaren Herstellung von Öffnungen mit genau vorgewählten Abmessungen geeignet.
- 20 Bei einem anderen bekannten Verfahren (ebenfalls DE 199 26 601 A1) wird von einem Siliciumsubstrat ausgegangen, das auf seiner Oberseite mit spitz zulaufenden Vertiefungen und einer thermisch aufgebrachten Siliciumdioxidschicht versehen ist. Zur Herstellung der Öffnungen wird der Umstand ausgenutzt, daß die Siliciumdioxidschicht im Bereich der
- 25 Spitzen der Vertiefungen Inhomogenitäten aufweist, die durch selektives Ätzen des Substrats von seiner Rückseite her freigelegt und dann durch einen weiteren Ätzschritt selektiv geöffnet werden können. Ein sich dabei ergebender Nachteil besteht darin, daß die die Öffnungen aufweisenden, freigelegten Spitzen die Unterseite des Substrats überragen und daher für Anwendungsfälle, die im wesentlichen planparallele Substrate
- 30 erfordern, nicht geeignet sind. Außerdem sind mit diesem Verfahren bisher nur Öffnungsbreiten bzw. Öffnungsdurchmesser von ca. 150 nm bis 200 nm und mehr erzielbar und

nur bei spezifischen Materialsystemen wie z. B. Siliciumsubstraten anwendbar, die thermisch hergestellte Siliciumdioxidschichten aufweisen.

Demgegenüber liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung zu schaffen, mit dem reproduzierbar kleine Öffnungen mit Durchmessern bzw. Breiten von ca. 100 nm oder weniger auch in planparallelen Substraten herstellbar sind und das außerdem bei unterschiedlichen Materialsystemen angewendet werden kann.

10 Zur Lösung dieser Aufgabe ist das Verfahren der eingangs bezeichneten Gattung, erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung mittels eines auf das Material der Schicht abgestimmten, anisotropen Plasma-Ätzverfahrens von der Oberseite her durch selektives Öffnen der Schicht hergestellt wird, indem das Material, die Ätzgase und die Ätzparameter so gewählt werden, daß sich im Bereich des Spitzenabschnitts der Vertiefung eine größere Ätzrate als an den Seitenwänden der Vertiefung ergibt.

Erfindungsgemäß werden außerdem ein Kalibrierstandard für die Rastersondenmikroskopie und ein Biegebalken vorgeschlagen, die beide mit nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Öffnungen versehen sind. Der Biegebalken eignet sich vor allem zur Herstellung eines mikromechanischen Sensors.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß sich bei zahlreichen Beschichtungen für Substrate der hier interessierenden Art eine ausgeprägte Ätzraten-Winkelverteilung ergibt, wenn die Schichten einem Plasma-Ätzprozeß von der Oberseite her unterworfen werden.

25 Die Erfindung sieht daher vor, die Oberseite eines strukturierten Substrats mit einer Schicht geeigneter Zusammensetzung, Morphologie und Dicke abzudecken und dann mit geeigneten Ätzgasen und Parametern (insbesondere Druck, Temperatur usw) einem Plasma-Ätzverfahren zu unterwerfen, das unter Ausnutzung der jeweiligen Ätzraten-Winkelverteilung im Bereich der Seitenwände zu deutlich kleineren Ätzraten als im Bereich der Spitzenabschnitte der Vertiefungen führt. Dadurch konnten bisher Öffnungen mit Durchmessern bzw. Breiten von ca. 90 nm erhalten werden.

Weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

5

Fig. 1a bis 1f schematisch verschiedene Verfahrensschritte bei der Anwendung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand von Draufsichten auf ein Substrat (Fig. 1a, 1e) und Querschnitten durch das Substrat (Fig. 1b bis 1d und 1f);

10

Fig. 2 und 3 schematische Vertikalschnitte durch Vorrichtungen zur Durchführung von Ätzschritten bei Anwendung des Verfahrens nach Fig. 1;

15 Fig. 4a und 4b je eine mit einem Rasterelektronenmikroskop hergestellte Abbildung eines Substratquerschnitts vor und nach der Herstellung einer Öffnung in einer auf das Substrat aufgetragenen Schicht bei Anwendung des Verfahrens nach Fig. 1;

20

Fig. 5a bis 5c den Fig. 4a und 4b entsprechende Abbildungen, jedoch nach Tiefätzung des Substrats unter Anwendung der die Öffnungen enthaltenden Schicht als Ätzmaske in unterschiedlichen Maßstäben;

Fig. 6 eine mit einem Rasterelektronenmikroskop erhaltene Abbildung analog zu Fig. 4 und 5, jedoch mit einer zusätzlichen, beim Tiefätzen erhaltenen Ätzkante;

25

Fig. 7a bis 7e den Fig. 1a bis 1f entsprechende Ansichten bei der Anwendung eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

30 Fig. 8a und 8b mit einem Rasterelektronenmikroskop erhaltene Draufsichten auf ein mit einer ätzbaren Schicht versehenes, strukturiertes Substrat vor und nach der Ausbildung einer Öffnung;

Fig. 9a bis 9f den Fig. 1a bis 1f entsprechende Ansichten bei der Anwendung eines dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 10a bis 10c in schematischen Querschnitten eines Substrats einen Vergleich zwischen einem bekannten und dem erfindungsgemäßen Verfahren; und

Fig. 11a bis 11e und Fig. 12a, 12b in den Fig. 1a bis 1f entsprechenden Ansichten zwei weitere Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens:

- 10 Ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist schematisch in Fig. 1a bis 1f dargestellt. In einem ersten Verfahrensschritt (Fig. 1a und 1b) wird ein Substrat 1 strukturiert. Das Substrat 1 liegt hier als dünne, im wesentlichen planparallele, einkristalline Siliciumscheibe vor, die eine als (001) - Kristallfläche orientierte Oberseite 2 und eine Unterseite 3 aufweist. Die auf der Oberseite 2 im ersten Verfahrensschritt
- 15 hergestellte Strukturierung enthält wenigstens eine spitz zulaufende, einen Spitzenabschnitt 4 (Apex) und zwei Seitenwände 5 aufweisende Vertiefung 6. Die Vertiefung 6 wird dadurch hergestellt, daß die Oberseite 2 in an sich bekannter Weise zunächst mit einer Maskierung versehen wird, die eine rechteckige Öffnung aufweist, und dann durch diese Maskierungsöffnung hindurch beispielsweise mit einer wässrigen Kaliumhydroxid-Lösung
- 20 (KOH) anisotrop geätzt wird. Bei diesem Ätzvorgang erhalten die Seitenwände 5 eine (111) - Orientierung, und es entsteht eine Vertiefung 6 in Form eines geraden, V-förmigen Grabens mit einem Öffnungswinkel zwischen den Seitenwänden 5 von ca. 70,5°. Gemäß Fig. 1a und 1b erstreckt sich die Vertiefung 6 über die ganze, vorzugsweise jedoch nur über einen Teil der Breite des Substrats 1. Die nicht dargestellte Maskierungsschicht
- 25 besteht z.B. aus einer zuvor aufgetragenen Siliciumdioxid- (SiO_2 -) oder Siliciumnitrid- (SiN_x -) Schicht.

- In einem zweiten Verfahrensschritt wird das Substrat 1 auf seiner gesamten strukturierten Oberseite 2 mit einer z.B. ca. 300 nm dicken Schicht 7 aus Siliciumdioxid belegt
- 30 (Fig. 1c), indem das Substrat 1 bei Temperaturen von z.B. 800 °C bis 1200 °C mit Wasserdampf als Oxidationsmittel thermisch oxidiert oder durch ein CVD-Verfahren

(= Chemical Vapour Deposition) z. B. unter Anwendung von Distickstoffoxid (N_2O) und Silan (SiH_4) mit SiO_2 beschichtet wird. Die SiO_2 -Schicht 7 kann dabei durch Anwendung von Oxidationstemperaturen zwischen ca. 800 °C und 900 °C bei Bedarf mit charakteristischen Inhomogenitäten im Bereich der konvexen oder konkaven Kanten der Grabenstruktur versehen werden (z.B. DE 199 26 601 A1). Die Form der Vertiefung 6 gemäß Fig. 1a und 1b bleibt beim beschriebenen Beschichtungsvorgang im wesentlichen erhalten, so daß auf der Oberseite der Schicht 7 entsprechende V-förmig angeordnete Seitenwände 8 und ein Spitzenabschnitt 9 entstehen. Die im vorhergehenden Verfahrensschritt verwendete Maskierungsschicht kann vor dem Aufbringen der SiO_2 -Schicht 7 entfernt, aber auch stehen gelassen werden.

Das Substrat 1 wird nun von seiner Oberseite 2 her mit einem geeigneten Plasma-Ätzverfahren behandelt, um die Schicht 7 im Bereich des Spitzenabschnitts 9 mit einer durchgehenden Öffnung 10 (Fig. 1d und 1e) zu versehen. Der Plasma-Ätzprozess wird mit Hilfe eines schematisch in Fig. 2 dargestellten, an sich bekannten, kapazitiv gekoppelten Parallel-Platten-Reaktors durchgeführt, der ein Gehäuse 11 mit einer oberen Elektrode 12 und einer unteren Elektrode 14 aufweist, auf die das Substrat 1 aufgelegt wird. Außerdem sind ein Gaseinlaß 15, ein Gasauslaß 16 und ein mit der unteren Elektrode 14 verbundener Hochfrequenzgenerator 17 vorhanden, der hier bei 13,56 MHz mit einer Leistung von ca. 160 W betrieben wird.

Dem Gaseinlaß 15 werden Argon (Ar) mit 5 sccm und Trifluormethan (CHF_3) mit 4,5 sccm zugeführt. Über den Gasauslaß wird im Gehäuse 11 ein Druck von ca. 75 mTorr aufrecht erhalten. Das sich beim Betrieb der Vorrichtung nach Fig. 2 einstellende Plasma 18 führt zu einer Gleichvorspannung des Substrats 1 von 250 V.

Im Ausführungsbeispiel beträgt die Ätzdauer 7 min bei einer Dicke der SiO_2 -Schicht 7 von 300 nm. Dadurch ergibt sich im Bereich des Spitzenabschnitts 9 der Schicht 7 (Fig. 1c) eine bis zum Spitzenabschnitt 4 des Substrats 1 durchgehende, schlitzförmige Öffnung 10 (Fig. 1d und 1e) mit einer über die ganze Länge der Vertiefung 6 im wesentlichen gleich bleibenden Breite b (Fig. 1e) von ca. 90 nm. Das ist eine Folge davon, daß die genannten

Ätzelemente und Ätzparameter so aufeinander abgestimmt sind, daß innerhalb der SiO_2 -Schicht 7 gegenüber dem gewählten und für diesen Fall als geeignet erkannten Plasma-Ätzprozess eine ausgeprägte Ätzraten-Winkelverteilung erhalten und die SiO_2 -Schicht 7 im Bereich ihres Spitzenabschnitts 9 mit einer größeren Ätzrate als im Bereich ihrer Seitenwände 8 geätzt wird.

Im Anschluß an die Herstellung der Öffnung 10 wird die mit ihr versehene SiO_2 -Schicht 7 als Ätzmaske bei einem nachfolgenden Tiefätzschritt angewendet, der dem Zweck dient, die in der SiO_2 -Schicht 7 ausgebildeten Öffnung 10 durch das Substrat 1 hindurch fortzusetzen und zu verlängern. Dadurch wird in diesem Verfahrensschritt (Fig. 1e, 1f) ein zur Öffnung 10 hin offener, nutenförmiger Spalt bzw. Kanal 19 im Substrat 1 erhalten, der im wesentlichen dieselbe Breite wie die Öffnung 10 hat.

Das Tiefätzen wird z.B. mit einer induktiv gekoppelten, zum Tiefätzen von Silicium geeigneten Plasma-Ätzvorrichtung durchgeführt, die schematisch in Fig. 3 dargestellt ist. Sie enthält ein Gehäuse 20 mit einem vertikal angeordneten Quarzrohr 21, das an seinem oberen Ende verschlossen ist, jedoch einen Gaseinlaß 22 aufweist. Das Quarzrohr 21 ist außerdem von einer mit einer Wasser gekühlten HF-Wicklung 23 umwickelt. Das untere, offene Ende des Quarzrohrs 21 ist auf eine Elektrode 24 gerichtet, auf der das zu behandelnde Substrat 1 aufliegt. Der vom Quarzrohr 21 umschlossene und der das Substrat 1 umgebende Raum sind über einen Gasauslaß 25 an eine Hochleistungspumpe angeschlossen. Der Elektrode 24 ist außerdem eine nicht näher dargestellte Kühleinrichtung zugeordnet, um das Substrat 1 beim Betrieb der Vorrichtung auf einer Temperatur von z.B. 10 °C zu halten.

Zur Durchführung der Ätzschritte werden gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel Argon mit ca. 24 sccm, Schwefelhexafluorid (SF_6) mit ca. 18 sccm und Sauerstoff (O_2) mit ca. 30 sccm zugeführt. Dabei wird im Gehäuse 21 über den Gasauslaß 25 ein Druck von 10 mTorr eingestellt. Die Wicklung 23 wird mit einer Frequenz von 13,56 MHz bei 600 W betrieben, wobei eine Gleichvorspannung von 127 V eingestellt wird bzw. sich durch das gebildete Plasma einstellt. Die Substrat-Temperatur wird auf 10 °C gehalten.

Die Ätzdauern betragen ca. 2 min.

Alternativ kann eine weitgehend anisotrope Tiefätzung auch durch Anwendung eines an sich bekannten Tiefätzverfahrens erhalten werden, bei dem abwechselnd aufeinander
5 folgende Ätz- und Polymerisationsschritte durchgeführt werden. Die Ätzschritte dienen zur abschnittswisen Ätzung von unterhalb der Öffnung 10 liegenden Zonen des Substrats 1. Dagegen wird während der Polymerisationsschritte ein Polymer auf die durch die Öffnung 10 definierten lateralen Begrenzungen der sich im Substrat 1 bildenden Struktur aufgebracht, um dadurch Unterätzungen, wie sie bei isotroper Ätzung entstehen würden,
10 weitgehend zu vermeiden. Auch dadurch wird im Verfahrensschritt (Fig. 1e, 1f) der zur Öffnung hin offene, nutenförmige Spalt bzw. Kanal 19 im Substrat 1 erhalten, der im wesentlichen dieselbe Breite wie die Öffnung 10 hat.

Zur Durchführung der Ätzschritte werden bei Anwendung dieses Verfahrens gemäß einem
15 zweiten Ausführungsbeispiel Argon mit ca. 17,1 sccm, Schwefelhexafluorid (SF_6) mit ca. 35 sccm und Sauerstoff (O_2) mit ca. 5 sccm zugeführt. Die Wicklung 23 wird mit einer Frequenz von 13,56 MHz bei 550 W betrieben, wobei sich durch das gebildete Plasma eine Gleichvorspannung von 96 V einstellt. Die Ätzdauern betragen ca. 18 s. Die übrigen Parameter sind wie im zuerst genannten Beispiel.

20 Zur Durchführung der Polymerisationsschritte werden bei Anwendung derselben Vorrichtung nach Fig. 3 CHF_3 mit 40 sccm und Methan (CH_4) mit 5 sccm zugeführt. Bei sonst gleichen Parametern wird ein Druck im Gehäuse 20 von 60 mTorr aufrecht erhalten, und die sich bei der Plasmaentwicklung einstellende Gleichvorspannung beträgt ca. 24 V.
25 Die Polymerisationsschritte werden mit einer Dauer von ca. je 8 s durchgeführt.

Tiefätzungen dieser Art sind z. B. aus der deutschen Patentschrift DE 42 41 045 C1 bekannt, die zur Vermeidung weiterer Erläuterungen hiermit durch Referenz auf sie zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht wird.

30 Die mit dem beschriebenen Verfahren erhaltenen Öffnungen 10 bzw. Kanäle 19 sind in

Fig. 4, 5 und 6 anhand von Rasterelektronenmikroskop-Abbildungen dargestellt.

Aus Fig. 4a ist zunächst deutlich die durch Beschichtung mit SiO_2 erhaltene Grabenstruktur mit ihrem Apex erkennbar. Dagegen zeigt Fig. 4b die bereits ausgebildete

5 Öffnung 10 mit einer Breite von 90 nm.

Fig. 5 zeigt in unterschiedlichen Maßstäben zwei durch den Tiefätzschritt hergestellte, nutenförmige Kanäle 27. Dabei ist der aus Fig. 5a ersichtliche Kanal 27a mit dem im

ersten Ausführungsbeispiel angewendeten Verfahren, der aus Fig. 5b und 5c ersichtliche
10 Kanal 27b dagegen mit dem in zweiten Ausführungsbeispiel angewendeten Verfahren
hergestellt worden. Die SiO_2 -Schicht 7 wurde vor Anfertigung der Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen jeweils vollständig entfernt, so daß nur die Vertiefung 6 im Substrat 1
sichtbar ist. Gemäß Fig. 5c wird auch bei einer beträchtlichen Kanaltiefe von z.B.
1,5 μm eine nur ca. 200 nm betragende Kanalbreite erhalten.

15

In Fig. 6 ist schließlich dargestellt, daß durch den Tiefätzschritt auch steil abfallende Stufen 28 im Siliciumsubstrat 1 erhalten werden können, die längs scharfer Kanten 29 in die Seitenwände 5, 8 des Substrats 1 bzw. in die SiO_2 -Schicht 7 übergehen. Das ist eine Folge davon, daß beim Öffnen der Schicht 7 am Apex wegen der beschriebenen Ätzraten-

20 Winkelverteilung auch die auf der Oberseite des Substrats 1 befindliche Schicht 7 durch Ätzen entfernt wird, da die Ätzrate hier aufgrund der gleichen Orientierung eine ähnliche Größe wie die Ätzrate am Apex hat. Beim stark anisotropen Tiefätzen mit der SiO_2 -Schicht 7 als Ätzmaske bilden sich daher an den Seiten des Substrats 1 jeweils die Stufen 28 aus. Diese Stufen 28 können zur Bildung von Ätzwannen in der Siliciumscheibe und
25 damit z.B. in der Halbleitertechnik zur Herstellung dreidimensionaler Feldeffekttransistoren genutzt werden. Sollen derartige Stufen 28 vermieden oder nur an vorgewählten Stellen ausgebildet werden, muß die Oberseite der SiO_2 -Schicht 7 außerhalb der Grabenstruktur und vor dem Herstellen der Öffnung 10 ganz oder teilweise mit geeigneten Maskierungen abgedeckt werden, die einen Ätzangriff auf das Siliciumsubstrat 1 aus-

30 schließen.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 und 8 unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 bis 6 nur durch die unterschiedliche Form der Öffnung und der damit hergestellten Strukturen im Substrat 1. Analog zu Fig. 1 wird das Substrat 1 an seiner Oberseite zunächst mit einer spitz zulaufenden Vertiefung versehen, und dann mit einer SiO_2 -Schicht 7 belegt, die eine entsprechende Vertiefung 30 mit einem Spitzenabschnitt 31 aufweist und von Seitenwänden 32 begrenzt ist (Fig. 7b). Abweichend von Fig. 1 besitzt die Vertiefung 30 die Form einer inversen, auf der Spitze 31 stehenden Pyramide mit quadratischer Grundfläche, wie in Fig. 7a aus der Draufsicht erkennbar ist. Handelt es sich bei der Oberfläche des Siliciumsubstrats 1 um eine (001) - Kristallfläche, dann sind alle vier Seitenwände 32 nach Durchführung des ersten Ätzschritts (111) orientiert. Anstatt an nur zwei Seiten ist die hergestellte Struktur somit an vier Seiten begrenzt.

Im Spitzenabschnitt 31 der Vertiefung 30 wird in derselben Weise, wie oben anhand der Fig. 1 beschrieben ist, eine Öffnung 33 (Fig. 7c) ausgebildet, die die Schicht 7 bzw. deren Spitzenabschnitt 31 vollständig durchsetzt. In der Draufsicht nach Fig. 7d ist der Querschnitt dieser Öffnung 33 im wesentlichen quadratisch bei einer Kantenlänge von ca. 150 nm. Wird die die Öffnung 33 aufweisende SiO_2 -Schicht 7 daher analog zur Fig. 1 als Ätzmaske für einen abschließenden Tiefätzprozess verwendet, dann entsteht im darunter liegenden Substrat 1 gemäß Fig. 7e lediglich eine schachtartige Grube 34 mit einem dem Querschnitt der Öffnung 33 im wesentlichen entsprechenden Querschnitt.

Fig. 8 zeigt mit einem Rasterelektronenmikroskop angefertigte Abbildungen von nach Fig. 7 behandelten Substraten. Insbesondere zeigt Fig. 8a eine Draufsicht auf die thermisch aufgebrachte SiO_2 -Schicht 7 mit ihrer Vertiefung 30 (Fig. 7a und 7b), wobei der zentrale Spitzenabschnitt 31, die Seitenwände 32 und von diesen gebildete, schattiert erscheinende Schnittlinien 35 erkennbar sind, an denen die Seitenwände 32 paarweise aneinander grenzen. Dagegen zeigt Fig. 8b eine Abbildung, bei welcher die SiO_2 -Schicht 7 bereits mit Hilfe des anhand der Fig. 1 beschriebenen Ätzschritts behandelt worden ist, der wegen der bestehenden Ätzraten-Winkelverteilung anisotrop verläuft und daher im Apexbereich zur Öffnung 34 führt.

- Ein drittes und derzeit als am besten empfundenes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig. 9 dargestellt. Abweichend von Fig. 1 und 7 ist hier ein Siliciumsubstrat 41 auf seiner (001) - Oberseite mit einer Mehrzahl von z.B. matrixförmig angeordneten Vertiefungen versehen, die je nach Bedarf auf der Spitze stehende Pyramiden oder spitz zulaufende Gräben sind, die jedoch abweichend von Fig. 1 an ihren Längsenden durch Seitenwände geschlossen sind. Das Siliciumsubstrat 41 wurde nach der Strukturierung thermisch mit einer dünnen SiO_2 -Schicht 42 belegt (Fig. 9b), so daß auf der Oberseite des Substrats 41 anhand der Fig. 1 und 7 beschriebene, mit SiO_2 bedeckte Vertiefungen 43, 44 und 45 vorhanden sind, die je nach gewünschter Struktur quadratische oder rechteckige Konturen aufweisen. Die mit rechteckigen Querschnitten versehenen Vertiefungen bzw. Gräben 44, 45 können dabei mit senkrecht zueinander stehenden Längsachsen angeordnet sein, wie Fig. 9a deutlich zeigt. Die sich an den Längsenden der Vertiefungen 44, 45 bildenden Seitenwände (z.B. 46 in Fig. 9a) liegen je nach Fall parallel zu (111) - Flächen des Substrats 41 oder auch nicht.
- Nach der Ausbildung der SiO_2 -Schicht 42 wird das Substrat von seiner Oberseite her einem Plasma-Ätzschritt analog zu Fig. 1b unterworfen, so daß in den Spitzenabschnitten aller vorhandenen Vertiefungen 43, 44 und 45 je eine Öffnung 47 entsteht, wobei alle Öffnungen 47 mit dem demselben Ätzschritt erzeugt werden. Die auf diese Weise hergestellte, mit den Öffnungen 47 versehenen SiO_2 -Schicht 42 wird in einem nachfolgenden Tiefätzschritt mit schachtartigen Gruben bzw. Kanälen 48 (Fig. 9d) versehen, wobei die anhand der Fig. 1 bis 7 beschriebene Verfahrensweise analog angewendet wird und daher analoge Ergebnisse erzielt werden.
- Das Substrat 41 wird in einem an den Tiefätzschritt anschließenden weiteren Verfahrensschritt mit planen Ober- und Unterseiten 49, 50 (Fig. 9e) versehen, indem diese, gegebenenfalls nach vorheriger Entfernung der SiO_2 -Schicht 42 mit KOH, durch Plasmaätzen od. dgl. z. B. mit einem chemisch-mechanischen Verfahren poliert werden. Die dadurch erhaltenen Oberflächen sind glatt (eben) und mit im wesentlichen identischen Strukturen versehen. Dieser Verfahrensschritt kann unabhängig davon vorgenommen werden, ob das Substrat 41 beim Tiefätzen mit nach Art von Sacklöchern ausgebildeten Gruben bzw.

nutenartigen Kanälen 48 versehen wird, die geschlossene Böden 51 (Fig. 9e) aufweisen, oder ob das Substrat 41 mit säulenartigen Durchgängen bzw. Schlitzten oder Spalten 52 versehen wird, die das Substrat 41 vollständig durchsetzen (Fig. 1f).

- 5 Ein besonderer Vorteil des Ausführungsbeispiels nach Fig. 9 besteht darin, daß wegen der beschriebenen Ätzzaten-Winkelverteilung alle in demselben Substrat 41 ausgebildeten Öffnungen 47 und mit diesen hergestellten Gruben/Kanäle 48 bzw. Durchgänge/Schlitzte 52 im wesentlichen dieselben, im Nanometerbereich liegenden Breiten b (Fig. 9d) aufweisen und mit geringen Breitenschwankungen reproduzierbar sind.

10

Das Substrat 41 nach Fig. 9f ist ausgezeichnet als Kalibrierstandard anwendbar, da es im Gegensatz zu bekannten Vorrichtungen (DE 199 26 601 A1) ohne weiteres mit planen, glatten Ober- und Unterseiten versehen werden kann. Das Prinzip eines solchen Kalibrierstandards ist es, lochartige oder linienartige Strukturen mit reproduzierbaren Geometrien

- 15 und einem optisch opaken, aber möglichst kleinen Substrat bereit zu stellen. Die Planarität der Oberfläche muß gefordert werden, um keine topographiebedingten Artefakte bei der nahfeldoptischen Abbildung zu erhalten (APL). Die Sonde eines Rasternahfeldmikroskops kann daher dicht an den Planflächen 49, 50 entlang bewegt werden. Außerdem sind für den Fall, daß einer der Durchgänge oder Schlitzte 52 verschmutzen, verstopfen oder aus
20 anderen Gründen unbrauchbar werden sollte, noch zahlreiche weitere Durchgänge oder Schlitzte 52 desselben Substrats mit identischen Abmessungen und damit redundant vorhanden. Auf diese Weise wird die praktische Gebrauchsdauer des Kalibrierstandards im Vergleich zu bekannten Vorrichtungen wesentlich vergrößert.

- 25 Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung ergibt sich aus Fig. 10. In Fig. 10a ist ein Substrat 54 mit einer typischen Dickenvariation TTV (total thickness variation) von ca. 1 bis 10 μm und einer Mehrzahl von Öffnungen 55 in einer thermisch aufgetragenen SiO_2 -Schicht 56 dargestellt. Würde versucht, die Öffnungen 56 von der Unterseite 57 des Substrats 54 her durch Ätzen mit KOH od. dgl. freizulegen (DE 199 26 601 A1), dann
30 würde ein Endprodukt nach Fig. 10b erhalten, bei dem nicht alle Öffnungen 56 gleichzeitig freigelegt worden sind. Vielmehr ist z.B. die Öffnung 55a in der Mitte der Fig. 10b

- gerade freigelegt, während die linke Öffnung 55b zwar freigelegt ist, aber eine unerwünschte Spitzenkontur ausbildet. Die rechts liegende Öffnung 55c ist schließlich noch im Substrat 54 vergraben und daher nur mit Hilfe einer wesentlich längeren Ätzdauer im Vergleich zur Öffnung 55b freilegbar, wodurch sich unterschiedlich große Öffnungsquerschnitte ergeben können. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dagegen ein Endprodukt nach Fig. 10c mit Durchgängen bzw. Schlitzten 58 erhalten, die nicht nur im wesentlichen gleiche Geometrien und Größen aufweisen, sondern zusätzlich zu den Durchgängen bzw. Schlitzten 58 auch keine weiteren Strukturen aufweisen. Auch deshalb ist das Substrat 41 nach Fig. 9f besonders gut als Kalibrierstandard geeignet.
- Außerdem ist in diesem Zusammenhang vorteilhaft, daß in Fig. 10c die Strukturen nicht unterschiedlich weit aus der Unterseite des Substrats 54 herausragen, was für eine Anwendung als Kalibrierstandard nicht akzeptabel wäre. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Öffnungsgrößen dagegen weitgehend unabhängig von einer Dickenvariation des Substrats und/oder der aufgetragenen Schicht 56.
- Die Ausbildung der anhand der Fig. 1 und 7 beschriebenen, für das erfindungsgemäße Verfahren notwendigen Graben- bzw. Pyramidenstruktur in Siliciumsubstraten mit (001)-Oberflächen ist dem Fachmann allgemein bekannt. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird in diesem Zusammenhang z.B. auf die Druckschriften DE 41 26 151 A1, DE 42 02 447 A1, US 5 116 462 A und US 5 399 232 A verwiesen, die hiermit durch Referenz auf sie zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht werden.
- Die anhand eines mit einer SiO_2 -Schicht bedeckten Siliciumsubstrats beschriebene Erfindung kann in analoger Weise auch mit anderen Substraten, z.B. solchen aus Germanium, Indiumphosphid oder Galliumarsenid, und in entsprechender Abwandlung auch mit anderen als SiO_2 -Schichten angewendet werden. Ein Unterschied besteht dabei in Abhängigkeit vom Halbleitermaterial allenfalls in den unterschiedlichen Öffnungswinkeln der Gräben bzw. inversen Pyramiden und/oder wie z.B. bei Anwendung von Galliumarsenid darin, daß nur zweiseitig begrenzte Gräben analog zu Fig. 1b, aber keine inversen, auf vier Seiten begrenzten Pyramidenstrukturen analog zu Fig. 2b herstellbar sind.

- Weiterhin ist klar, daß u.U. auch andere Strukturierungen möglich und andere als die beschriebenen Plasma-Ätzverfahren zur Herstellung der Öffnungen 10, 33 usw. anwendbar sind. Für die Zwecke der Erfindung bedeutsam ist einerseits, daß ein strukturiertes Substrat, das auch aus einem mehrere Schichten enthaltenden Schichtensystem bestehen
- 5 könnte, auf wenigstens einer Breitseite und zumindest im Bereich der Strukturen mit einer Schicht belegt wird, die aus einem geeigneten, d.h. eine nutzbare Ätzraten-Winkelverteilung aufweisenden Material bzw. einer Materialzusammensetzung besteht und in einer geeigneten Dicke aufgebracht wird, wobei das Wort "Schicht" auch Schichtsysteme einschließt, die aus mehreren Einzelschichten und/oder Materialzusammensetzungen
- 10 zusammengesetzt sind. Andererseits geht die Erfindung davon aus, daß zur Herstellung der Öffnungen 10, 33 ein geeignetes Plasma-Ätzverfahren, insbesondere ein reaktives Ionenätzverfahren angewendet wird, bei dem chemische und physikalische Ätzmechanismen kombiniert werden. Durch Vorgabe geeigneter Ätzgase und geeigneter Plasmaätzparameter (Druck, Temperatur, eingekoppelte Leistung, Frequenz des Generators, Vor-
- 15 spannung etc.) kann der jeweilige Anteil verstärkt oder geschwächt werden. Dies hat zur Folge, daß die erzielbare Ätzrate der Maskierungsschicht insbesondere von der Orientierung der Oberflächenstrukturen abhängig wird und durch die Variation der oben genannten Plasma-Ätzparameter angepaßt werden kann. Es kann also durch Adaption des Plasma-Ätzprozesses oder durch Variation der Oberflächenstruktur erreicht werden, daß die
- 20 Ätzrate für die Maskierungsschicht auf den Seitenwänden (z.B. 8 in Fig. 1) deutlich kleiner als diejenige am Apex (z.B. 9 in Fig. 1) ausfällt, da dessen Orientierung und somit die zugehörige Ätzrate verschieden ist. Da außerdem der Apexbereich erfindungsgemäß spitz zulaufend gewählt wird, was auch Vertiefungen in der Form eines auf der Spitze stehenden Kegels od. dgl. einschließt, sind die erhaltenen Öffnungen (z.B. 10 in Fig. 1)
- 25 extrem klein und gut reproduzierbar. Vorteilhaft ist auch, daß die Öffnungen 10, 33, 47 aus einer großen Struktur (z.B. Fig. 1a, Fig. 7a, Fig. 9b) zwangsgeführt, d.h. selbstjustierend am spitz zulaufenden Boden (Linie oder Punkt) der jeweiligen Struktur entstehen, wobei auch die Herstellung von bogenförmigen Öffnungen denkbar wären.
- 30 Ein weiteres wichtiges Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die Öffnungen 10, 33, 47 noch in Anwesenheit des Substrats 1, 41 erzeugt werden und die Schicht 7, 42 daher

mit den bereits vorhandenen Öffnungen 10, 33, 47 zur Definition kleinerer Strukturen im Substrat 1, 41 benutzt werden kann. Alternativ zu den beschriebenen Kanälen 19, Gruben 34 oder Schlitz 52 könnte z.B. eine weitere Funktionsschicht auf die oberste Schicht aufgebracht werden, um durch die Öffnung bzw. die tiefer geätzte Struktur hindurch einen extrem kleinen Kontakt zum Substrat oder zu einer noch nicht durchätzten Schicht im Schichtsystem herzustellen.

Weiterhin könnte zusätzliches Material zur Verringerung des Kanal-, Schlitz- oder Grubenquerschnitts durch verschiedenste Depositionsprozesse eingebracht werden. Im Fall von Silicium geschieht dies vorteilhaft durch thermische Oxidation, da bei der Oxidation eines Siliciumatoms zum Siliciumdioxidmolekül sein Volumen um einen Faktor 2,25 steigt und somit der lichte Öffnungsquerschnitt reduziert bzw. vollständig geschlossen werden kann. Damit ist generell auch die Realisierung optischer Wellenleiter und anderer Strukturen in der Tiefe der Siliciumstruktur möglich.

Fig. 11a bis 11e zeigen eine solche Möglichkeit, ausgehend von dem in Fig. 9d erreichten Zustand. Nach Entfernung der SiO_2 -Schicht (Fig. 11b) wird eine Schicht 59 aufgebracht, die auch die Gruben oder Kanäle 52 teilweise füllt. Im Anschluß daran wird das Substrat 41 zumindest teilweise von seiner Rückseite her durch Ätzen entfernt (Fig. 11d), und im letzten Schritt wird dann der am Boden der Grube oder des Kanals 48 befindliche Teil der Schicht 59 von der Rückseite her durch Ätzen geöffnet (Fig. 11e), wodurch an der Unterseite der verbleibenden Struktur ein rohrstutzenartiger Ansatz 60 mit einem extrem kleinen Durchmesser stehen bleibt.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, die auf vielfache Weise abgewandelt werden können. Nach einer Ausgestaltung der Erfindung kann auf die Schichten 7, 42 mit der Öffnungsstruktur eine beliebige andere Schicht, z.B. eine Halbleiterschicht, Metallschicht (insbesondere Aluminium), dielektrische Schicht oder supraleitende Schicht, ferner eine leitfähige oder nicht leitfähige Polymerschicht oder ein Schichtsystem aus einer Kombination dieser Schichten aufgebracht werden.

Die Erfindung betrifft mit besonderem Vorteil ferner auch eine Verwendung einer Öffnung, die dadurch gekennzeichnet ist, daß das Schichtmaterial mit der Öffnung insbesondere im vorderen Teil eines einseitig eingespannten Biegebalkens, insbesondere eines sog. Cantilevers integriert ist (z.B. US 5 116 462 A, US 5 399 232 A). Dabei

5 besteht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Verwendung darin, daß ein einzelner Biegebalken oder eine Mehrzahl von Biegebalken in einer Matrixanordnung insbesondere in der Rastersondenmikroskopie als Sensorelemente eingesetzt wird. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß durch die Deposition einer dünnen, optisch wenig transparenten Schicht der oder die Biegebalken für die simultane Rasterkraftmikroskopie (AFM, SFM)

10 und die optische Rasternahfeldmikroskopie (SNOM) eingesetzt werden können, wobei bei einer Beleuchtung der Öffnung von der Oberfläche der Schicht aus die Öffnung als miniaturisierte Quelle (illumination mode) eingesetzt werden kann oder durch die Öffnung selbst die Lichtleistung von einer beleuchteten Probe aufgenommen wird (collection mode). Durch sequentielle Deposition von Materialien wie z.B. Metallen, Halbleitern,

15 organischen Materialien od. dgl. auf die Vorder- und/oder Rückseite des Substrats kann ferner eine miniaturisierte Kontaktstelle an der Stelle der Apertur erhalten werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, daß eine matrixförmige Anordnung einer oder mehrerer Öffnungen auf planen Substraten oder auf strukturierten Oberflächen

20 (z.B. Cantilevern) zur Dosierung und/oder Injektion von exakten, sehr kleinen Flüssigkeits- oder Gasmengen eingesetzt wird. Ein Beispiel für eine solche Struktur ist in Fig. 12 dargestellt. Hier wird, analog z. B. zu dem in Fig. 7c erreichten Zustand, zunächst eine Struktur 61 mit einem eine Öffnung 33 aufweisenden Spitzenabschnitt 31 hergestellt, der an einem Ende eines Biegebalkens 62 angeordnet ist, der am anderen Ende entsprechend

25 der üblichen Cantilever-Bauweise in eine Halterung od. dgl. eingespannt werden kann (Fig. 12a). Durch zumindest teilweises Ätzen des Substrats 1 von der Rückseite her kann die Dicke des Biegebalkens im erwünschten Umfang reduziert und der Spitzenabschnitt 31 analog zu Fig. 11e freigelegt werden.

30 Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 11 ermöglicht eine Vielzahl von weiteren Anwendungen. Werden die durch Ätzen erzeugten Gruben oder Kanäle 48 52 gemäß Fig. 9 oder 11

- ganz oder teilweise durch das Substrat 41 erstreckt und anschließend mit einem transparenten und/oder dielektrischen Material wie z. B. SiO_2 , einem Polymer od. dgl. gefüllt, werden optische analog zu optischen Faserkabeln nutzbare Wellenleiter-Strukturen erhalten, die es ermöglichen, optische und optoelektronische Bauelemente in der zum
- 5 Substrat senkrechten Dimension zu verbinden.

- Analog dazu können die Kanäle auch mit leitfähigen Materialien (Metallen, leitfähigen Polymeren, halbleitenden Materialien usw.) gefüllt werden, um so Durchkontaktierungen (via throughs) herzustellen. Werden diese nur teilweise gefüllt, so ergeben sich Hohlwellenleiter, die für elektrische und optische Anwendungen interessant sind. Denkbar ist schließlich auch eine Kombination dieser Materialien. Werden die Gruben oder Kanäle mit leitfähigem Material und dann mit einem dielektrischen Material beschichtet und danach die freibleibenden Volumina mit leitfähigem Material ausgefüllt, so wird eine in der Elektrotechnik wohlbekannte Koaxialleitung erhalten, die insbesondere für Hoch-
- 10 lenleiter, die für elektrische und optische Anwendungen interessant sind. Denkbar ist schließlich auch eine Kombination dieser Materialien. Werden die Gruben oder Kanäle mit leitfähigem Material und dann mit einem dielektrischen Material beschichtet und danach die freibleibenden Volumina mit leitfähigem Material ausgefüllt, so wird eine in der
- 15 frequenzanwendungen interessant ist. Die Erfindung ermöglicht somit insbesondere auch die Schaffung von Bauelementen, die zur elektronischen und/oder optischen Übertragung von Signalen geeignet sind.

- Weiter kann das erfindungsgemäße Verfahren anstatt auf Vertiefungen, die in einer idealen Spitze enden, auch auf Vertiefungen angewendet werden, die einen V-förmigen Graben mit einem plateauförmigen Boden aufweisen oder nach Art eines inversen Pyramidenstumpfs ausgebildet sind, indem z.B. der zur Herstellung der Strukturen durchgeführte Ätzzvorgang vor Erreichen der eigentlichen Spitze abgebrochen wird. Der oben und in den Ansprüchen verwendete Ausdruck "spitz zulaufend" soll derartige Plateaformen einschließen. Weiter ist es möglich, das Substrat oder nach dessen Entfernung die verbleibende dünne Schicht 7, 42 an der Ober- und/oder Unterseite mit einer Metallschicht zu versehen. Dadurch besteht die Möglichkeit, die bereits vorhandenen Öffnungen gezielt zu verkleinern. Gleichzeitig sorgt die Metallschicht auch für eine Verbesserung der optischen Eigenschaften eines mit einer solchen Öffnung versehenen Sensors für ein Nahfeldmikroskop. Bei Entfernung des Substrats 1, 41 von der Rückseite der Schichten 7, 42 her mit bekannten Verfahren können in sehr dünnen Schichten 7, 42 Spitzenstrukturen mit extrem
- 20 Spitze enden, auch auf Vertiefungen angewendet werden, die einen V-förmigen Graben mit einem plateauförmigen Boden aufweisen oder nach Art eines inversen Pyramidenstumpfs ausgebildet sind, indem z.B. der zur Herstellung der Strukturen durchgeführte Ätzzvorgang vor Erreichen der eigentlichen Spitze abgebrochen wird. Der oben und in den Ansprüchen verwendete Ausdruck "spitz zulaufend" soll derartige Plateaformen einschließen. Weiter ist es möglich, das Substrat oder nach dessen Entfernung die verbleibende dünne Schicht 7, 42 an der Ober- und/oder Unterseite mit einer Metallschicht zu versehen. Dadurch besteht die Möglichkeit, die bereits vorhandenen Öffnungen gezielt zu verkleinern. Gleichzeitig sorgt die Metallschicht auch für eine Verbesserung der optischen Eigenschaften eines mit einer solchen Öffnung versehenen Sensors für ein Nahfeldmikroskop. Bei Entfernung des Substrats 1, 41 von der Rückseite der Schichten 7, 42 her mit bekannten Verfahren können in sehr dünnen Schichten 7, 42 Spitzenstrukturen mit extrem
- 25 schließen. Weiter ist es möglich, das Substrat oder nach dessen Entfernung die verbleibende dünne Schicht 7, 42 an der Ober- und/oder Unterseite mit einer Metallschicht zu versehen. Dadurch besteht die Möglichkeit, die bereits vorhandenen Öffnungen gezielt zu verkleinern. Gleichzeitig sorgt die Metallschicht auch für eine Verbesserung der optischen Eigenschaften eines mit einer solchen Öffnung versehenen Sensors für ein Nahfeldmikroskop. Bei Entfernung des Substrats 1, 41 von der Rückseite der Schichten 7, 42 her mit bekannten Verfahren können in sehr dünnen Schichten 7, 42 Spitzenstrukturen mit extrem
- 30 skop. Bei Entfernung des Substrats 1, 41 von der Rückseite der Schichten 7, 42 her mit bekannten Verfahren können in sehr dünnen Schichten 7, 42 Spitzenstrukturen mit extrem

kleinen Öffnungen an ihrem Apex erhalten werden. Werden größere Öffnungen gewünscht, so können die erhaltenen Öffnungen entweder vor oder nach dem Entfernen des Substrats durch einen weiteren Ätzprozess gezielt vergrößert werden. Durch dieses Verfahren lassen sich daher miniaturisierte Öffnungen definierter Größe auf dem ganzen

- 5 Substrat erzeugen. Weiter können die graben- oder pyramidenförmigen Strukturen auch durch andere als die beschriebenen Verfahren hergestellt werden, z.B. mit Hilfe von chemischen oder elektrochemischen Ätzprozessen, Ionenstrahlätzprozessen oder auch durch mechanische Indentation. Außerdem könnten anstelle von KOH auch z. B. NaOH, LiOH od. dgl. oder organische Lösungen angewendet werden. Schließlich versteht sich,
- 10 daß die verschiedenen Merkmale auch in anderen als den dargestellten und beschriebenen Kombinationen angewendet werden können.

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung wenigstens einer kleinen Öffnung (10,33,47) in einer Schicht auf einem Substrat (1,41), insbesondere einem Halbleitersubstrat, wobei das Substrat (1,41) auf der Oberseite (2) mit wenigstens einer spitz zulaufenden, einen Spitzenabschnitt (4) und Seitenwände (5) aufweisenden Vertiefung (6) versehen, die Oberseite (2) des Substrats (1,41) zumindest im Bereich der Vertiefung (6) mit einer Schicht (7,42) aus einem ätzbaren Material belegt und die Öffnung (10,33,47) dann im Bereich des Spitzenabschnitts (4) der Vertiefung (6) durch Ätzen der Schicht (7,42) hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung (10,33,47) mittels eines auf das Material der Schicht (7,42) abgestimmten, anisotropen Plasma-Ätzverfahrens von der Oberseite (2) her durch selektives Öffnen der Schicht (7,42) hergestellt wird, indem das Material, die Ätzgase und die Ätzparameter so gewählt werden, daß sich im Bereich eines dem Spitzenabschnitt (4) des Substrats (1,41) aufliegenden Spitzenabschnitts (9,31) der Schicht (7,42) der Vertiefung (6,30) eine größere Ätzrate als im Bereich von den Seitenwänden (5) des Substrats (1,41) aufliegenden Seitenwänden (8,32) der Schicht (7,42) ergibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat (1,41) Silicium und als Material der Schicht (7,42) Siliciumdioxid verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Siliciumsubstrat (1,41) mit einer (001) - Fläche als Oberseite verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma-Ätzverfahren unter Anwendung von Argon und Trifluormethan durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat Germanium, Galliumarsenid oder Indiumphosphid verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1,41) im Anschluß an die Herstellung der Öffnung (10,33,47) unter Anwendung der

Schicht (7,42) als Ätzmaske einem Tiefätzschritt unterworfen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (41) durch das Tiefätzen mit einer durchgehenden Öffnung (52) versehen wird.

5

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (41) auf der Oberseite mit einer Mehrzahl von graben- und/oder pyramidenförmigen Vertiefungen (43,44,45) und einer diese abdeckenden Schicht (42) versehen wird und daß in der Schicht (42) unter Anwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der An-

10 sprüche 1 bis 5 eine entsprechende Mehrzahl von Öffnungen (47) ausgebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat unter Anwendung eines Tiefätzschritts und der Schicht (42) als Maske mit einer entsprechenden Mehrzahl von durchgehenden Öffnungen (52) versehen wird.

15

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat (1,41) eine planparallele Scheibe verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest auf einem Rand wenigstens eine Öffnung in einem nachfolgenden Verfahrensschritt eine weitere Schicht mit vorgewählten Eigenschaften aufgebracht wird.

20

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Öffnung in einem freien Abschnitt eines einseitig eingespannten Biegebalkens ausgebildet wird.

25

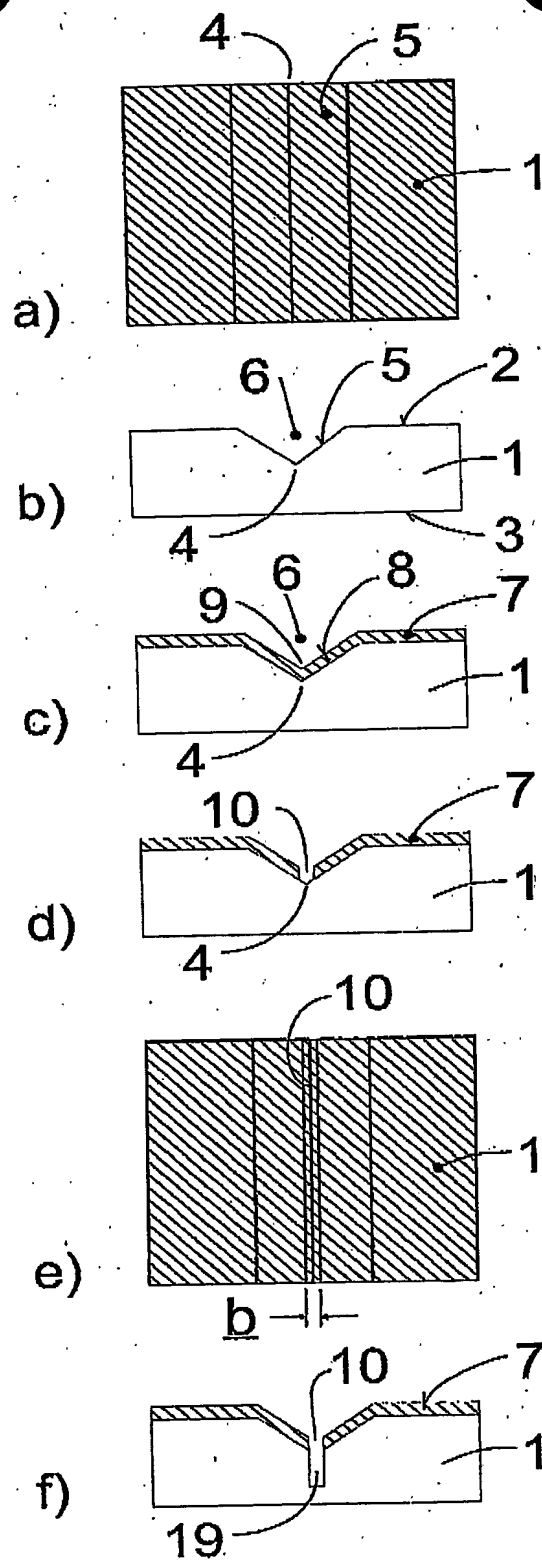
13. Kalibrierstandard für die Rastersondenmikroskopie, dadurch gekennzeichnet, daß er aus einem planparallelen Substrat (41) mit einer Mehrzahl von durchgehenden Öffnungen (52) besteht, die mit dem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 hergestellt sind.

30

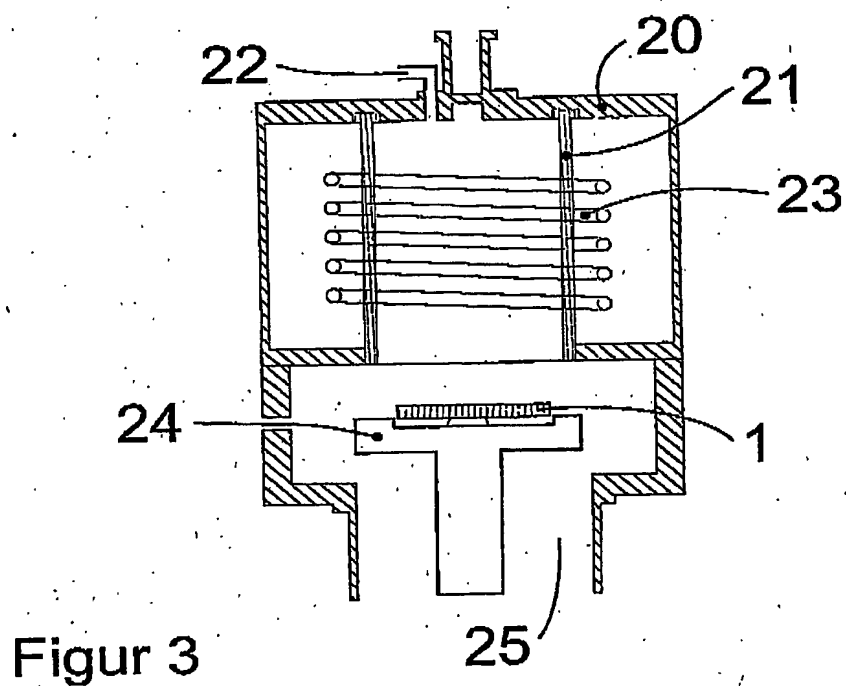
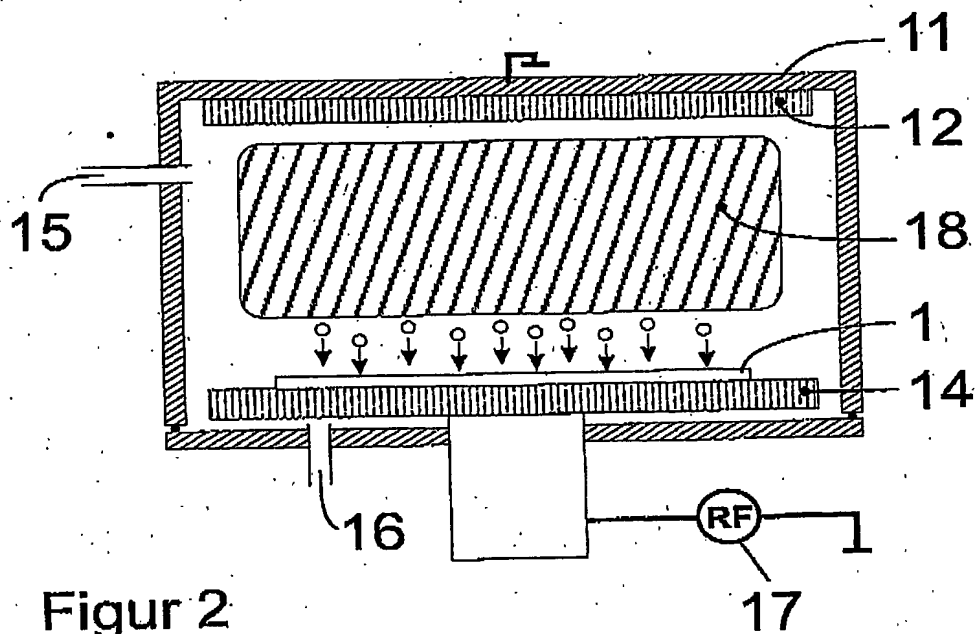
14. Mikromechanischer Sensor mit einem einseitig eingespannten Biegebalken (62), der an einem freien Ende mit einer Spitze versehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Spitze (31) eine Öffnung (33) aufweist, die nach dem Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 hergestellt ist.

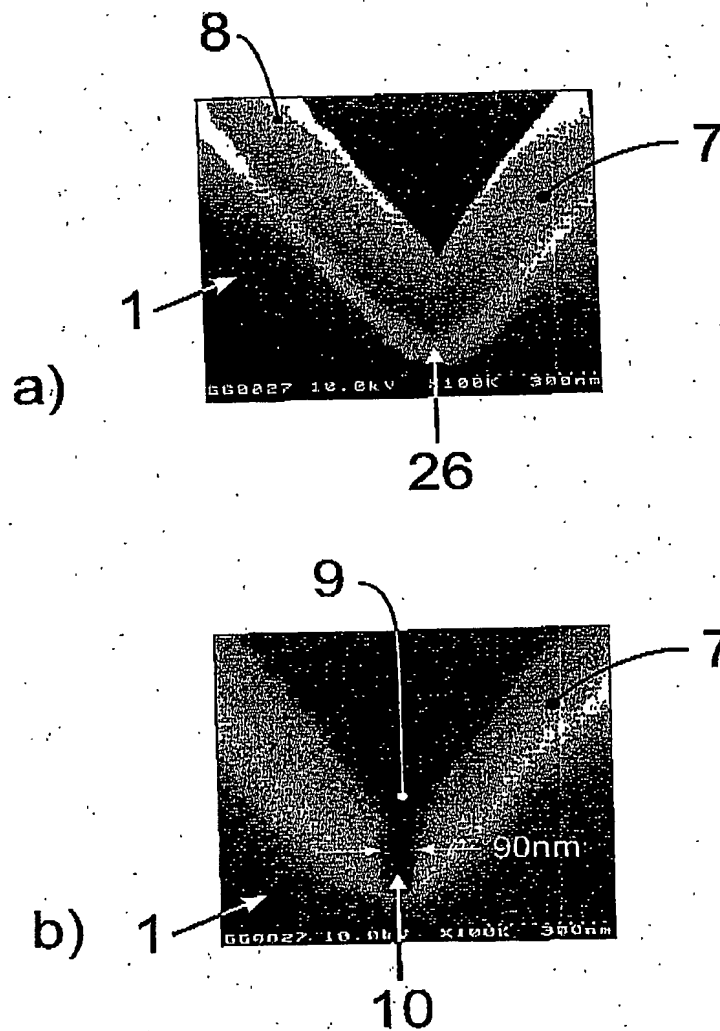
5

15. Bauelement zur elektrischen/optischen Übertragung von elektrischen/optischen Signalen, dadurch gekennzeichnet, daß es nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11 hergestellt ist, wobei die Öffnungen (52) mit einem leitfähigen oder dielektrischen Material gefüllt sind.

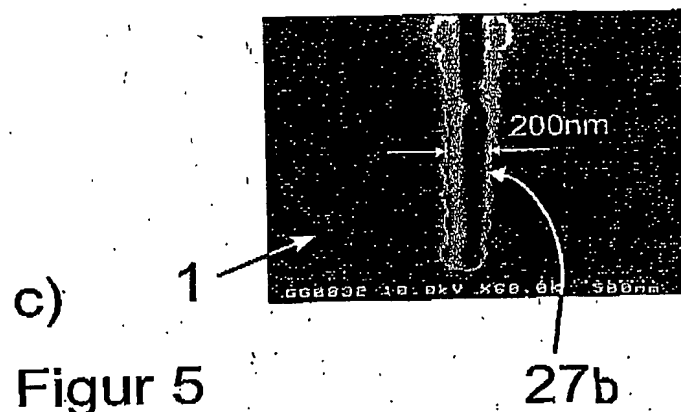
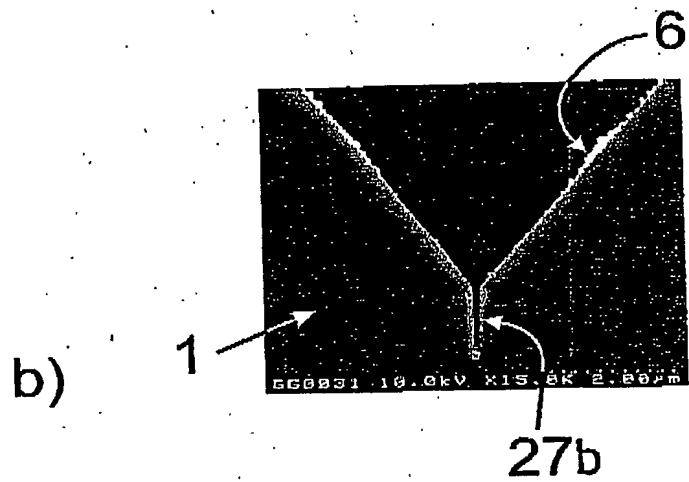
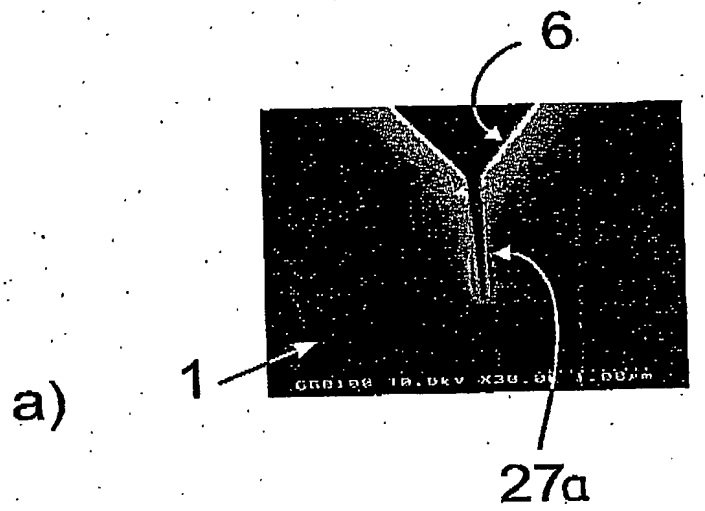


Figur 1

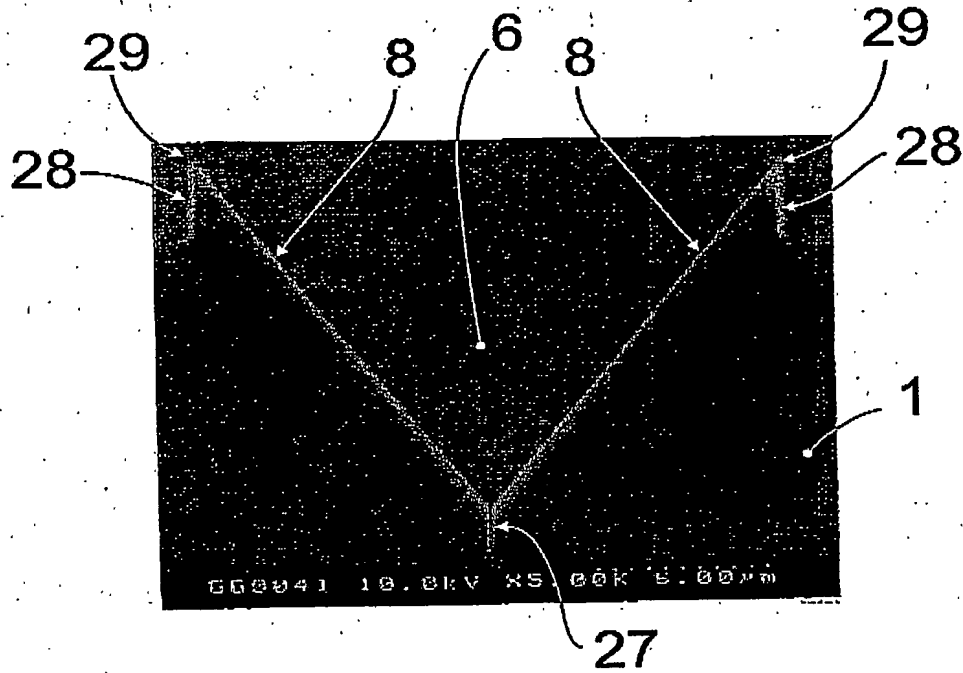




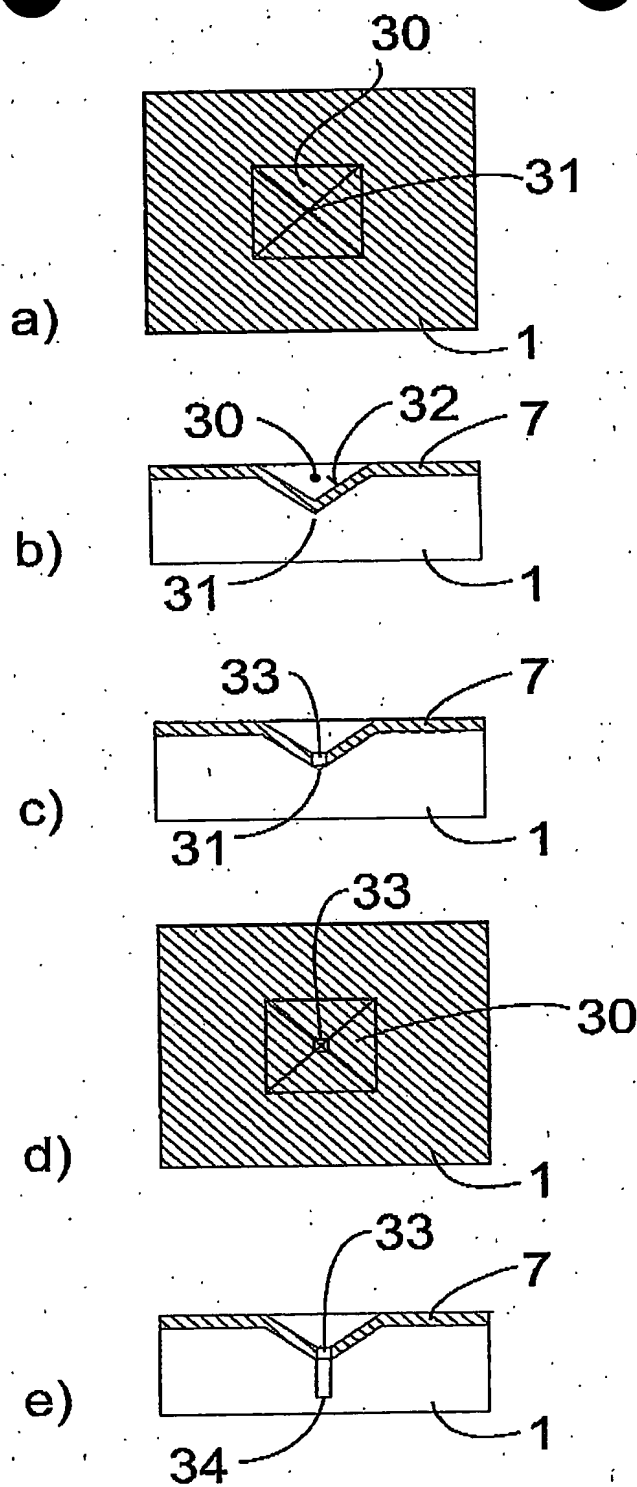
Figur 4



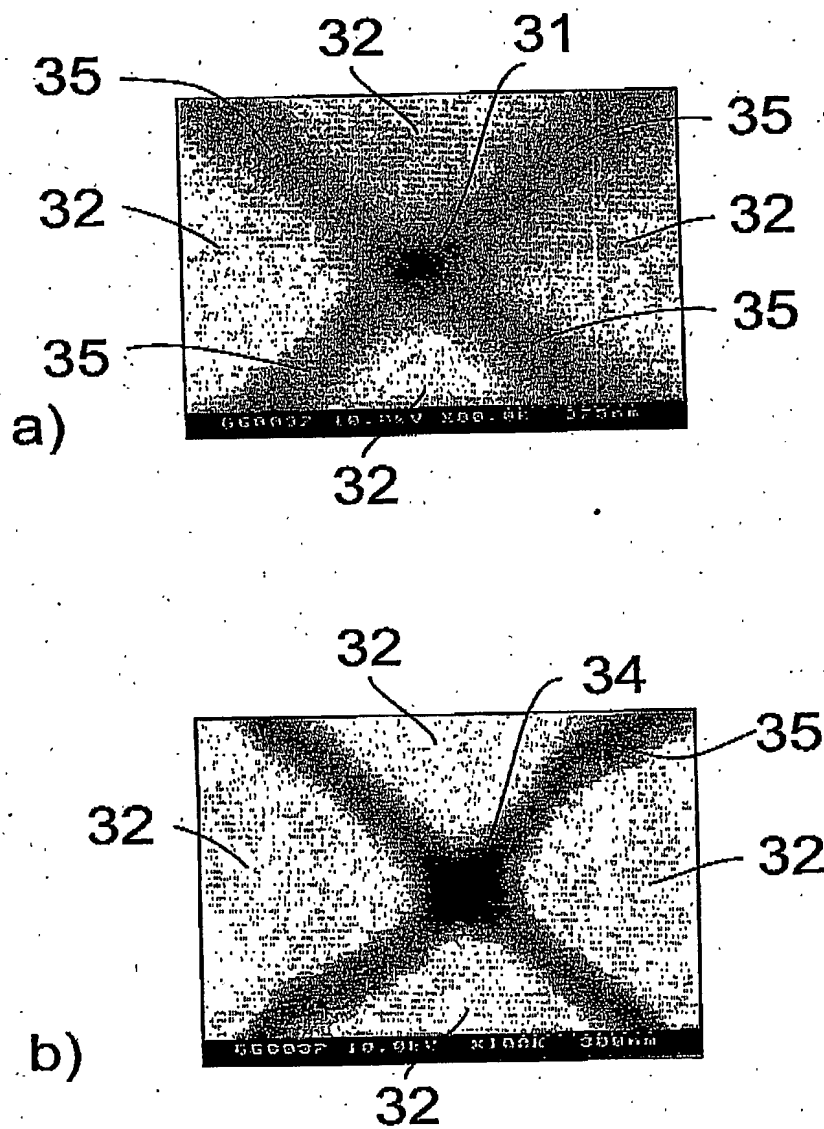
Figur 5



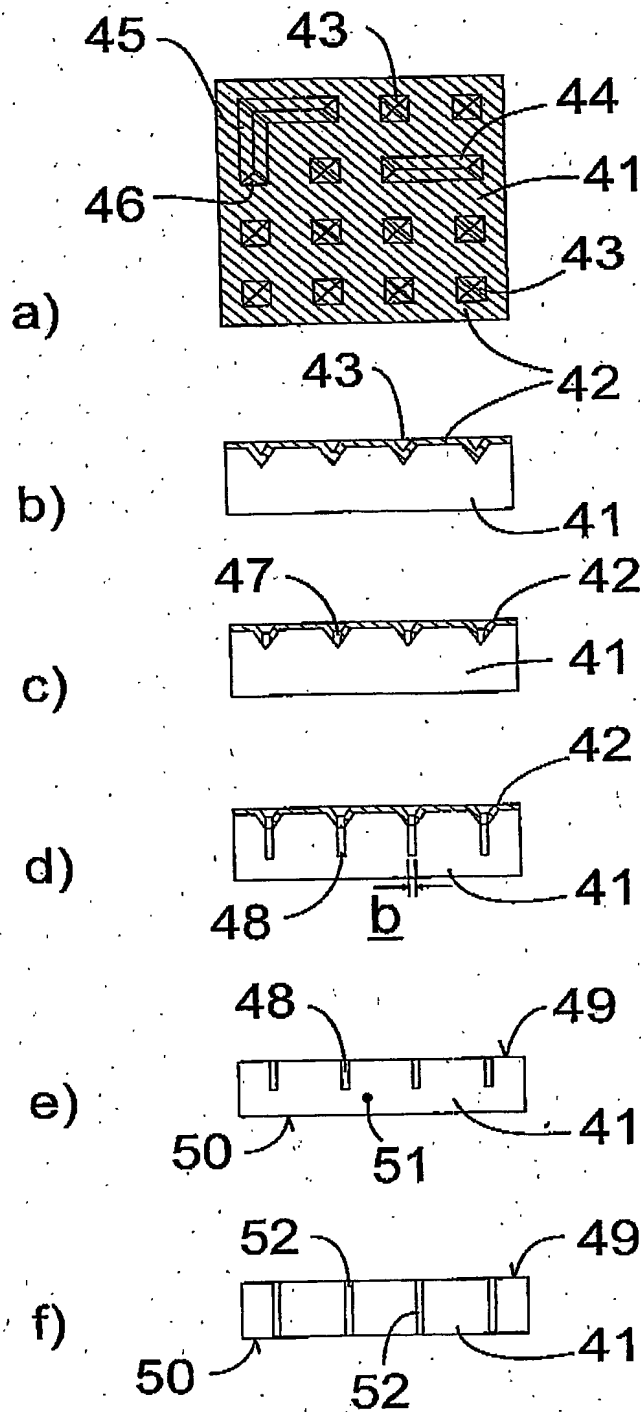
Figur 6



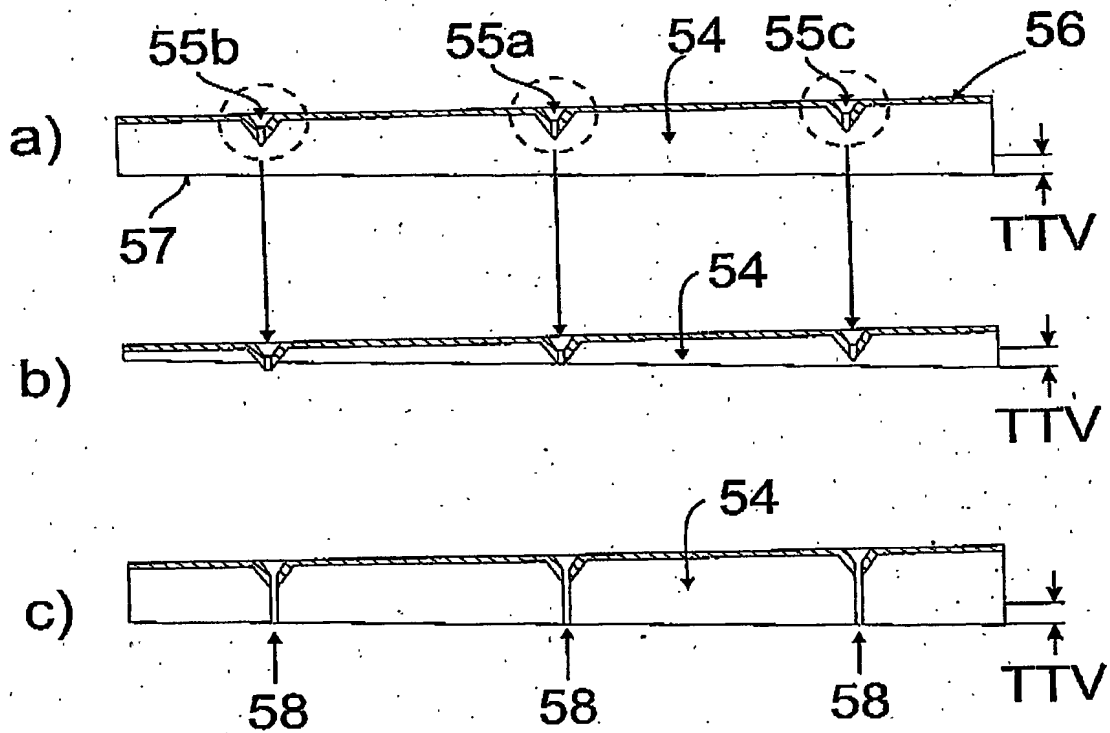
Figur 7



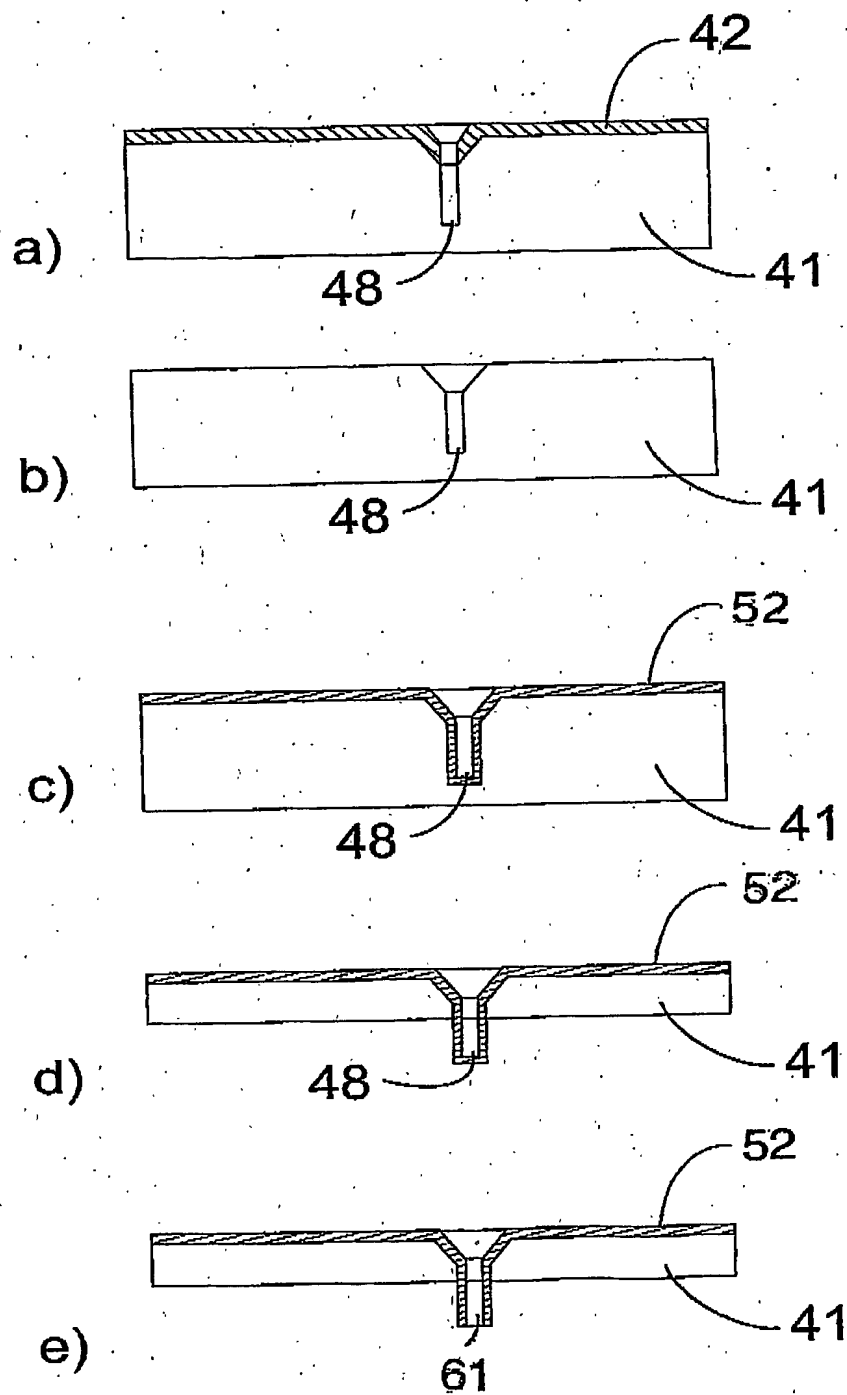
Figur 8



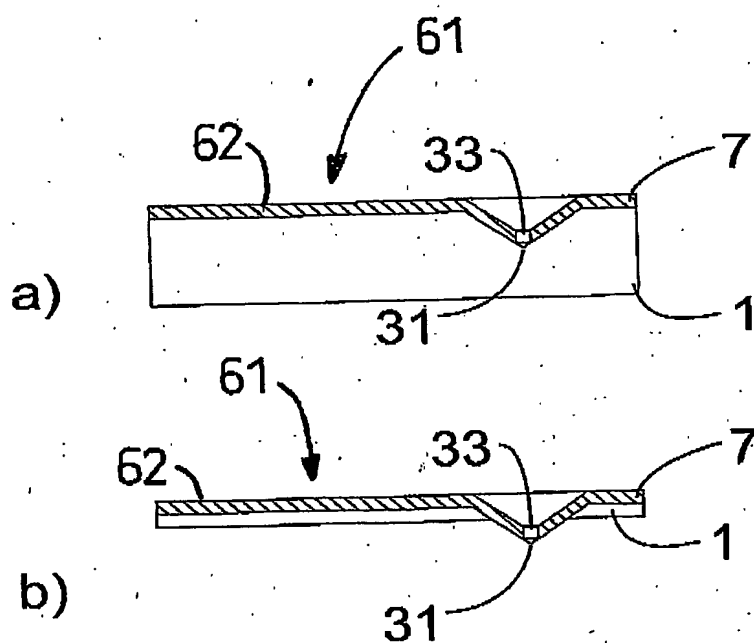
Figur 9



Figur 10



Figur 11



Figur 12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.